

# 실사격 시험 프로세스의 안전성 강화를 위한 MBSE 기반 아키텍처 연구

예 성 혁\* · 이 재 천\*\*

\*국방과학연구소 종합시험본부 · \*\*아주대학교 시스템공학과

## Model-Based Architecture Design of the Range Safety Process for Live Fire Test with Enhanced Safety

Sung Hyuck Ye\* · Jae-Chon Lee\*\*

\*Defense Systems Test Center, Agency for Defense Development

\*\*Dept. of Systems Engineering, Ajou University

### Abstract

In weapon systems development, live fire tests have been frequently adopted to evaluate the performance of the systems under development. Therefore, it is necessary to ensure safety in the test ranges where the live fire tests can cause serious hazards. During the tests, a special care must be taken to protect the test and evaluation (T&E) personnel and also test assets from potential danger and hazards. Thus, the development and management of the range safety process is quite important in the tests of guided missiles and artillery considering the explosive power of the destruction. Note also that with a newly evolving era of weapon systems such as laser, EMP and non-lethal weapons, the test procedure for such systems is very complex. Therefore, keeping the safety level in the test ranges is getting more difficult due to the increased unpredictability for unknown hazards. The objective of this paper is to study on how to enhance the safety in the test ranges. To do so, an approach is proposed based on model-based systems engineering (MBSE). Specifically, a functional architecture is derived utilizing the MBSE method for the design of the range safety process under the condition that the derived architecture must satisfy both the complex test situation and the safety requirements. The architecture developed in the paper has also been investigated by simulation using a computer-aided systems engineering tool. The systematic application of this study in weapon live tests is expected to reduce unexpected hazards and test design time. Our approach is intended to be a trial to get closer to the recent theme in T&E community, "Testing at the speed of stakeholder's need and rapid requirement for rapid acquisition."

**Keywords : Range Safety, Weapon Systems Development, Model-Based Systems Engineering, Live Fire Test, Process Integration**

† 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업임 (No. NRF-2012R1A1A2009193)

† Corresponding author : Prof. Jae-Chon Lee, Dept. of Systems Engineering, Ajou University, Wonchon-dong, Youngtong-gu, Suwon, 443-749. Tel : 031-219-3941, E-mail : jaelee@ajou.ac.kr  
Received April 17, 2014; Revision Received June. 13, 2014; Accepted June. 16, 2014.

### 1. 서 론

무기체계의 연구개발은 장기간의 개발기간과 개발 후 장기간의 운용기간 등 상용시스템과 비교하여 긴 수명주기를 가지고 있을 뿐만 아니라 시스템의 특성상 여러 이해당사자로부터 도출되는 요구사항의 만족 등 복잡한 의사결정 과정과 인터페이스를 가진 대형화되고 복잡한 시스템으로서 개발과정에 많은 위험요소를 내재하고 있다. 무기체계의 연구개발 과정에서 발생할 수 있는 각종 위험요소를 최소화하고 효율적인 업무 수행을 위해서는 시스템 공학(systems engineering)기반의 개발 방안을 적용해야만 하며, 시스템 개발 단계에서 도출된 사용자 요구사항, 요구조건 그리고 설계에 대한 검증 단계를 포함하는 시험평가 단계에서도 시스템 공학적인 접근이 시도되고 있다[1].



[Figure 1] T&E and live fire test in the full life cycle of weapon systems development.

시험평가는 시험과 평가단계로 구분할 수 있는데, 시험이란 개발품의 객관적 성능을 검증하고 평가하는데 기초가 되는 자료를 획득하는 과정이며, 평가는 시험 및 기타 수단으로 획득된 자료를 근거로 사전에 설명된 기준과 비교분석을 통하여 개발 체계가 사용자 요구와 운용목적에 부합하는지를 판단하는 과정이다. 무기체계의 시험평가는 체계의 개발단계를 포함한 전 수명주기를 고려할 때, 무기체계의 개발시 구성품 시험(component test), 통합 시험(Integration Test)을 포함한 개발자 중심의 자체 기술시험(Development Test)을 통하여 부체계 성능 검증 후, 체계 단계의 시험단계로 전환된다. 체계 단계의 시험은 요구 성능에 대한 기술적 도달 정도에 중점을 두는 개발자 중심의 개발시험평가(Developmental Test & Evaluation)과 요구 성능 및 운용상의 적합성과 연동성에 중점을 두는 최종 사용자인 운용자 중심의 운용시험평가(Operational Test & Evaluation)에 이어 양산품의 품질 보증을 위해 수행하는 제품 수락시험(Product Acceptance Test)와 장기 저장 및 운용 중인 탄약의 운용성능 검증을 위하여 수행되는 ASRP(Ammunition Stockpile Reliability Program) 시험, 군의 운용능력을 가늠하기 위한

ASP(Annual Service Practice) 시험을 포함한다. 참고 문헌[2]에서 제시한 무기체계의 수명주기를 고려할 때 수행되는 시험평가를 위한 시험 수행단계를 [Figure 1]에서 제시하였다.

무기체계 시험평가는 요구 성능의 충족여부를 판단할 수 있는 시험 자료 수집과 함께 시스템의 특성 상 발생할 수 있는 인적, 물적 손상 및 피해에 대해서도 고려되어야만 한다. 무기체계의 시험 중에 발생하는 주요 현상인 폭발(Explosion), 발사(Firing), 타격(Impact), 비행(Flight), 분리(Separation)등 안전적 측면에서 위해적인 요소와 함께 비정상적 상태에서 폭발 및 조정불능 상태가 되어 시스템 자체의 손상 뿐 아니라 시험 시설 영구적 손상, 그리고 인명의 손상과 같은 치명적인 위해(危害)가 발생할 수 있다. 시험에 따른 위해 요소를 고려한 안전중시 시스템(safety critical system)으로 정의할 수 있는 실사격 시험(live fire test)절차가 원활히 운영되기 위해서는 안전 요구사항과 제약사항 등 안전요건을 고려하여 체계적으로 시험 설계를 하고, 안전 요구조건의 반영 여부를 검증할 수 있도록 체계적인 관리와 추적성을 갖는 시스템 공학적인 방법을 사용하여 시험방법을 개발하고 시험 운용이 이루어져야 할 것이다.

본 논문에서는 무기체계 연구개발에서 시험평가 방법 중 안전 위험요소가 높은 실사격 시험단계에서 안전 요소 강화를 위하여 시스템 공학적 접근을 통한 시험 프로세스 아키텍처 구현을 목표로 한다. 연구결과는 치명적 결함을 최소화하고 시험 계획 수립을 효율적으로 수행할 수 있는 방안으로 실사격 시험 프로세스와 안전 수행 절차를 통합하는 기능 아키텍처 모델을 구현 제시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에서는 연구 배경과 시험평가의 안전도에 대해 기술하였으며, 2장에서는 시험 수행과 관련된 선행 연구 분석과 문제 정의, 연구 목표를 설정하고, 3장에서는 시험 수행을 위한 안전 모델을 기반으로 실사격 안전 아키텍처의 구성 및 도출에 대하여 기술하였다. 계속해서 4장에서는 도출된 아키텍처에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 논리적 검증의 결과를 수록하였고, 마지막 5장에서는 본 논문의 결과를 정리 요약하였다.

## 2. 문제 정의

### 2.1 무기체계 연구 및 시험평가 환경 변화

정보통신 기술의 발전과 소프트웨어 기반의 시스템 증가는 기존 무기체계의 전자장비와 소프트웨어의 비중을 높게 되었으며 상용품의 군수전환을 의미하는 COTS(Commercial Of The Shelf)의 적용에 따라서 상대적으로 짧은 수명주기를 갖는 시스템으로 변화되고 있다. 미국의 경우 냉전 시대의 종료는 대규모 전장에서 복잡한 전쟁 수행 능력 구비와 함께 새로운 전장에서의 무기체계 개발이 요구되고 있는데, 아프가니스탄이나 이라크 등에서 사용되는 급조폭발물(IED)이나 원격 폭탄에 대한 방호시설 및 대테러 탐지 기술 그리고 무인 공격기나 정찰기를 단시간 내에 전장에 투입 방안이 새로운 과제로 대두되고 있다. 단기간 내에서 전장에서 요구되는 성능을 확보한 무기체계의 획득에 따른 배치가 시급함으로 무기체계 개발 주기의 단축을 위한 조기 획득(Rapid acquisition) 체계 구현을 추진 중에 있다[4,5].

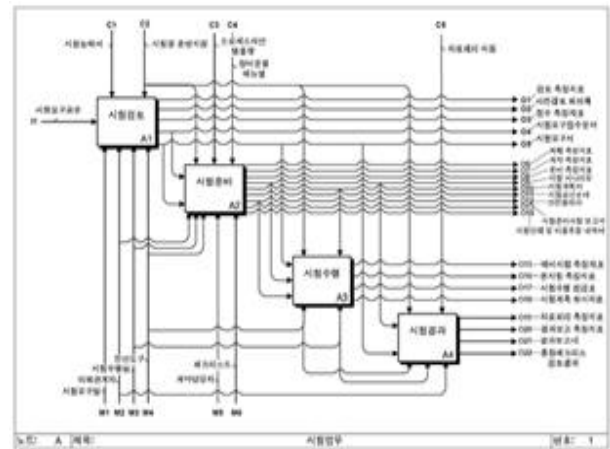
시험평가는 무기체계 연구개발에서 투입되는 기간 중 시간적인 소요 기간이 많은 단계로서 시험평가 기간 단축은 무기체계의 획득기간을 단축과 직접적으로 연관된다. 시험평가 분야의 시스템 공학적인 접근은 효율적인 설계를 통하여 한정된 예산 내에 적기 시험평가를 수행하도록 다양한 노력이 진행 중에 있다[3,4]. 참고문헌에서 제시한 시험평가 단계의 축소 노력은 시험평가 절차 간소화와 연계되어 DT&E와 OT&E의 단계를 통합하는 통합 시험을 수행하여 전장에서의 수행 능력 평가와 Systems of systems로 발전되어 가는 전장에서의 운용성 검증을 포함하게 된다[5].

무기체계 전 수명주기의 시험평가에서 시험은 개발자의 자체적인 시험 시설에서 이루어질 수도 있으나, 장시간에 걸쳐 구성되어야 하는 고가의 시험시설과 이를 원활하게 운용할 수 있는 시험 및 연구인력, 그리고 신뢰성 있는 시험 자료를 제공하기 위한 절차와 표준안을 단시간 내에 구축하기에는 어려운 실정이며, 대다수의 무기 체계의 운용자가 자국의 군대를 위하여 전력화하는 현황을 미루어볼 때, 국가 시험장을 중심으로 각종 시험을 수행 중에 있다. 국내에서는 국방과학연구소 중심으로 구축된 무기체계 시험시설을 일반무기체계 연구를 추진 중인 민간 방위산업체에 개방하여 업체의 무기체계 연구개발에서 가장 큰 난제 중 하나인 개발 검증 단계에서 요구되는 시험평가 관련 시설 부족을 해소하여 방위산업 활성화를 도모하고 있다[6].

### 2.2 선행연구 분석

무기체계 시험평가 단계에서의 시스템 공학 적용은 대형 무기체계 연구개발을 효율적으로 수행하기 위하여 중요한 대안으로서 미국에서는 무기체계 시험평가 협회인 ITEA(International Test and Evaluation Association)을 중심으로 활발히 지침 및 절차 연구를 진행 중에 있다[1,3,4,6].

국내에서 수행되는 실사격 시험 단계에서 시스템 공학적 구현 노력은 참고문헌[7]에서 [Figure 2]와 같이 시험검토(Test review), 시험 준비(Test Planning), 시험수행(Test Operation) 그리고 산출물 제시 전 검토를 위한 시험결과 분석(Test Analysis)의 단계 등 총 4단계로 제시하였다. [Figure 2]는 시험 프로세스를 IDEF 다이어그램으로 도시한 것이다.

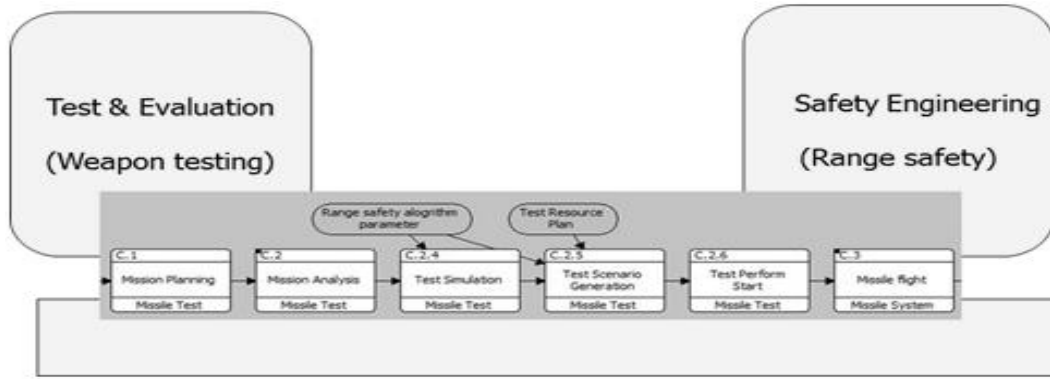


[Figure 2] An IDEF diagram for Live fire test [8].

제시된 4가지 단계 구성 시험 절차는 기존에 시행되지 않았던 시험 절차를 체계적으로 제시하였다는 실제적인 의미를 가지고 있으나, 실사격 시험의 안전중시 시스템의 역할 관점에서는 안전 절차가 미흡하다.

시험 검토 단계에서 입력물 중 안전관련 내용은 시험 운영지침에 기술된 일부분에 불과하여 이에 따른 시험 안전 관련 산출물을 안전 협의서로 규정하는 것으로서 발생할 수 있는 위해 요소 식별은 어려운 상황이다.

시험 직접 참여자 관점 중심으로 구성된 프로세스는 의뢰자 및 개발자를 위한 상호연관성에 대한 해석이 미흡하여 안전 절차 시나리오 구성과 같은 시험 안전 조치가 이해당사자의 안전 요구사항과 일치여부를 제시하기 부족하며, 또한 시험과 안전이라는 두 측면에서 이중 간의 결합성을 고려하지 않아서 다양성 측면에서 확장성에 제한을 가질 수 있다.



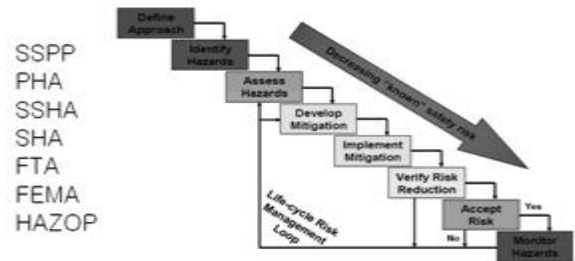
[Figure 3] An integrated model for live fire test with safety consideration.

### 2.3 안전 공학과 시스템 공학 연구

무기체계 연구 개발시 위해 요소에 대한 치명적 결함을 방지하기 위하여 안전 공학(safety engineering)은 1940년대 체계적인 시스템 공학기반의 무기체계 연구 개발 초기부터 지칭화 되어 성립되어 왔으며, 미국에서는 군사표준인 MIL-STD-882를 적용하여 안전요소를 식별하고 무기체계 연구개발 중 안전 절차를 식별 및 관리과정을 수행한다. 일반적인 시스템 구성 분야와 안전도 강화를 위한 제언은 참고문헌[9]에서 수행된 바 있으나, 개념 설계 분야에 범위를 두어 타 분야나 시스템 설계 분야에 구체적인 대안을 제시하지는 않았다.

무기체계 연구개발의 안전 식별을 위하여 미국에서는 MIL-STD-882의 단계를 시스템 공학 프로세스로 제시한 바 있으며 시험 안전의 측면에서 체계적인 구을 제시한 데 그 의미가 있다. [Figure 3]는 시스템 공학적인 접근법으로 제시한 안전 설계 절차이다.

본 논문에서는 시험평가라는 고유 영역과 안전 시스템을 중심으로 고려하는 또 다른 고유 영역인 안전공학을 하나로 통합하고, 그리고 개발자 또는 이해당사자의 업무를 세분화함으로써 시험 수행자의 업무 범위를 구분 및 정제를 통하여 안전 중시 시스템으로서의 프로세스 강화를 도모하고자 한다. [Figure 4]는 이중 간의 프로세스 통합을 위한 실사격 시험 아키텍처의 개념도를 제시한 것으로서 두 프로세스간 이격을 줄이기 위하여 각 프로세스를 모델로 구성하여 인터페이스 및 연관성을 식별하였다.



[Figure 4] Safety process based on systems engineering [9].

### 2.4 연구 목표

무기체계 연구개발 분야에서의 시험 수행 프로세스와 안전 프로세스는 과거부터 별개의 기능 영역으로 분리된 고유 분야로서 각각의 분야에서 체계적인 접근을 위하여 시스템 공학 기반의 연구가 수행된 바 있다 [6,7]. 그러나 앞에서 언급한 바와 같이 이중 간의 통합 구조로서 상호 연관성을 식별하여 무기체계 시험평가 방법 중 실사격 시험에서 위해요소 감소를 통한 안전도 향상을 위해 두 개의 서로 다른 영역간간의 통합 구조를 제시하였다. 유사한 연구가 시스템 연구개발과 시험평가의 단계인 Verification, Validation 그리고 Testing을 포괄하는 통합하는 개념에서는 이루어진 바는 있으나, 시험 분야 내에서 이중 개념간의 통합은 고려되지 않았다[11].

본 연구에서는 시스템공학의 설계 방법 중 하나인 MBSE(Model Based Systems Engineering) 을 적용하여 안전 중시 시스템으로서의 시험 프로세스 설계시의 이해 당사자 간의 소통 오류 및 설계 시간을 단축하도록 하였다. 시험 요구조건의 변경에 따른 시험 수행 단계에서의 점검 오류와 추적성 관리가 가능하며, 다양한 시험요구에 대하여 모델링의 재사용을 통하여 단시간 내에 시험 설계가 가능토록 하였다. MBSE의 적용을 위한 전산도구로는 SysML, Cradle, Core등이 있는데, 각각의 전산도구는 고유의 프로세스 및 모델링 언어를 포함하고 있다.

### 3. 안전도를 강화한 실사격 프로세스의 도출

본 연구에서는 두 개의 다른 영역의 통합을 위하여 각각의 모델을 분석 및 구현하여 하나의 모델로 통합하도록 하였다. 분석 방법은 참고문헌[10]에서 제시한 PMTE 방식을 채택하였다. [Figure 5]는 무엇(What)을 정의하는 프로세스(Process), 어떻게(How) 수행하는지를 검토하는 방안(Method), 구체화를 위하여 무엇을 어떻게 하기 위한(What & How)인 관리도구(Tool), 그리고 제한 요소와 요구 조건에 따른 운용 환경(Environment)을 고려하여 논리적으로 설계를 구현하는 방식을 채택하였다.



[Figure 5] PMTE elements and effects of technology and people[10].

본 연구에서는 실사격 시험에 대한 안전 활동 분석의 현황을 살펴보고 이를 시스템 공학적인 방안으로 접근하여 얻을 수 있는 단계적 관점에서 시험 절차를 분석하였다.

#### 3.1 실사격 시험 안전 활동 분석

무기체계 연구개발에서 시스템의 성능 검증을 위한 시험장의 실사격 시험 안전 프로세스는 위해요소 식별 및 안전 활동은 시스템 설계 단계에서 위험 요소들과 지속적인 연계성을 가지고 생성되어야 하는데, 안전 활

동의 분석은 설계단계에부터 중요하다.

시스템 설계 초기 단계인 개념 설계에서 산출된 PHL(Preliminary Hazard Analysis), PHA(Preliminary Hazard Analysis)는 상세 설계단계로 진행되어 가면서 생성되는 SSHA(Sub-System Hazard Analysis), 이를 기반으로 SHA(System Hazard Analysis)와 운영단계에서의 위험분석을 위한 O&SHA(Operating & support Hazard Analysis) 그리고 HHA(Health Hazard Analysis)를 생성된다. 시스템 최종 설계 단계에서 주요 위험분석 요소를 산출하기 위한 안전 활동인 SHA는 시스템 사양에 포함된 안전 요구사항 준수하는지 시스템을 검증하기 위하여 사용하며, 서브시스템과의 인터페이스 및 시스템 기능적 오류를 식별하기 위해 사용하고 있다. SHA의 산출물이 시스템의 검증 단계에서 수행하는 DT, OT에서 실사격 또는 비행시험 (Flight test)에서 안전 요소로서 제시될 수 있는데, [Figure 6]은 시스템 개발 단계에서 안전 활동 상세화와 시험안전 업무의 연관성을 고려하여 안전 절차 계획 및 시험 요구조건의 절차를 나타낸 것이다. SHA를 중심으로 O&SHA 그리고 HHA 단계에서 식별된 위해 요소는 운영인력에 대한 위해요소를 고려할 수 있으므로 시험 요구조건 반영시 안전 요구 조건으로 제시되어야 한다.

현재 이루어지고 있는 시험장의 안전 활동은 SHA 수행 등에서 얻어진 시험 전 안전 활동과 시험 안전 활동으로 구분하고 있는데, 개발단계에서 수행된 안전 식별 활동에서 얻어진 결과인 중요 위험요소 식별과 이에 따른 상세 위험식별 인자에 대하여 시험안전협의라고 통칭하는 시험 안전 요구조건 계획수립을 통하여 시험설계에 반영하고 있으며, 무기체계 자체에 대한 오류나 위해에 대하여 정보를 제공함으로써 시험 중 위험시 대처가 가능한 시나리오 구성을 통한 시험 안전 활동 계획을 수립한다.

위해요소 (Hazard)	위해 영향	원인	IS	IP	IRV	IRC	경감조치	IS	IP	IRV	IRC	상태
사격 중 포열 내에만 걸림	포열 내 포탄 폭발시, 운영인력 치명적 손상 및 무기체계 손상 야기	사막과 같은 운용 환경상의 높은 온도막이나, 높은 연속발사율로 인한 비 이상적 열 발생에 따른 포열의 뒤틀림(Warped)	-	B	2	High	포열 내 검사기 설치로 조치 가능	I	D	-	S	조치 완료

[Figure 6] Process relation between hazard analysis and live fire test based on development time line.

SHA를 수행하는 대표적인 위험분석 기법으로는 FTA(Fault Tree Analysis), FEMA(Failure mode and effects analysis)등이 있으며, HHA, O&SHA 그리고 SHA의 산출물은 시험 수행을 위해 안전 요구조건 도출시 주요 입력물로 사용되는데, 상위단계의 사고 리스 트인 TLMs(Top Level Mishap)이 대표적인 예라고 할 수 있다. 무기체계 시험 수행시 고려되어야 되는 TLM 에는 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다.

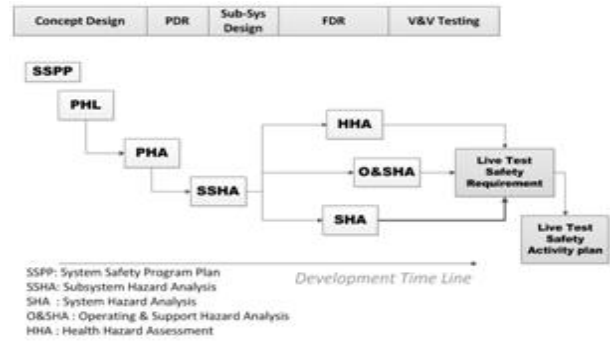
- 시험 중 비정상적 상태
- 발사 불가
- 점화, 폭발 불가
- 시험체 작동 불가
- 인명 손상
- 화재, 통제 여부

이러한 내용을 기반으로 안전 요구조건을 도출하여, 시험 안전 활동을 정의한다. 시험 안전 조치 사항 등 얻어진 시험 관련 안전 요구사항은 안전 조건과 함께 SHA를 통하여 생성된 위험경감조치(Risk Mitigation Measure)의 내용이 안전 활동과 연계되어야 한다.

무기체계의 실사격 시험의 경우 작동불능에 따른 발사불가 상태를 치명적 이상 현상에 따라서 운용인력의 치명적인 손상이 발생할 수 있으므로 이에 대한 위험 경감책이 설계 단계에서 작성되어 실사격 시험 설계에 제공되어야 한다. 시험의 안전도는 개념설계부터 체계적으로 이루어진 안전 활동으로부터 경감될 수 있으므로 시험 요구조건 제시 단계에서 식별한 안전 활동은 실제 안전활동으로 이루어져야 한다. 위험 경감책은 다음과 같은 내용을 포함하고 있어야 된다.

- 위험요소
- 위험요소에 따른 영향
- 원인/위험경감책
- SHA 수행시 위험경감 단계
- 초기 위험 발생률(Initial Risk Probability Level)
- 초기 위험 분류(IS), 위험수치(IRV)
- 조치후 위험 발생률(Final Risk Probability Level)
- 조치 후 위험분류(FS), 위험수치(FRV)

이러한 내용을 포함한 안전 경감책 체크 리스트를 이용하여 [Figure 7]과 같이 위험 경감 측정을 수행할 수 있다. 본 제시사례는 총포탄약 시험에서의 포열에 포탄의 걸리는 현상(Jam effect)에 대하여 위험 원인, 경감책 등을 제시한 사례이다.



[Figure 7] SHA worksheet for live fire test (risk mitigation measure).

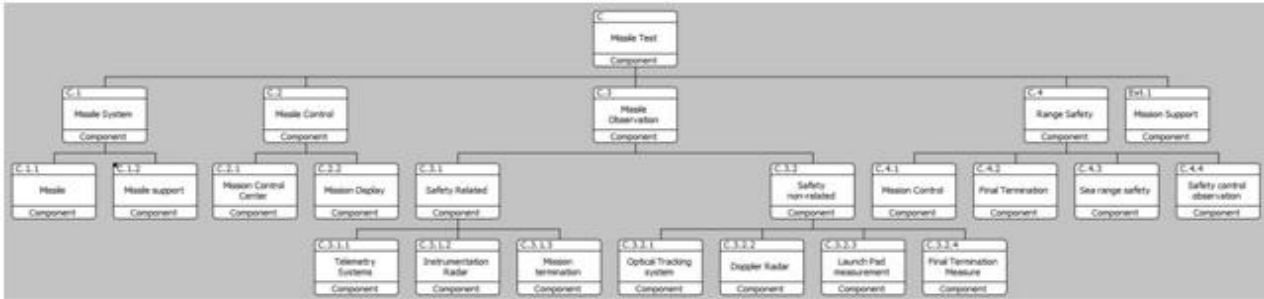
### 3.2 안전도를 강화한 실사격 프로세스

안전 영역과 시험 영역의 통합 모델을 구축하기 위하여 동일한 프로세스 단계에 대하여 활동 및 산출물들의 상관관계 및 추적성을 정의하였다. 또한 절차에 따른 산출물 간의 관계를 제시하여, 시험 설계 및 수행에 따른 안전도 점검 오류를 최소화 하고자 하였다.

시험 및 안전 기능을 모델로 구현하여 재사용성을 높이고자 하였으며, 논리적인 흐름정의와 MBSE를 수행하기 위하여 시스템 공학도구인 Core를 사용하였다. Core를 통하여 생성된 모델의 논리적 검증을 위하여 EFFBD(Enhanced Functional Flow Block diagram)으로 모델을 생성하였다.

실사격 시험 수행 절차는 안전 중시 시스템으로 안전에 대한 점검 내용이 반드시 포함해야만 한다. 설계 단계에서 식별된 안전 위해요소는 시험 수행 및 준비 단계에서의 시험 설계를 위하여 필수 입력 요소로 정의하여 안전성이 강화된 시험 수행 모델의 구현을 위하여 기존 절차 위주의 시험 모델에 안전성 강화와 다양한 이해당사자의 식별을 통한 시험 참여자의 기능을 모델화 하여 제시한다.

안전도를 강화한 시험 설계를 위하여 분류할 수 있는 컴포넌트 모델을 사용한 물리적 아키텍처를 [Figure 8]에서 제시하였다. 실제 시험 대상의 위해요소를 식별하므로 연구 개발 시 작성되는 시스템의 WBS 중 시험 대상과 연계 되는 부분을 컴포넌트로 식별할 수 있으며, 실제 시험 수행을 위한 통제(Mission Control), 계측(Observation) 그리고 안전통제(Safety Control) 세 분야를 포함하여 시험 분야를 총 4개 분야로 구성하였으며, 이에 따른 WBS 를 <Table 1>에서 제시하였다. 안전 통제 분야의 경우, 해상안전, 시험장 안전 그리고 실사격 시험의 주요 안전 통제 수단인 안전 통제 레이더 및 영상 장비로 구성되었다. 비행 시험 중에 계측 분야는 안전 통제 개입 여부에 따라서 구분하였다.



[Figure 8] A physical architecture model for the firing process component for live fire test

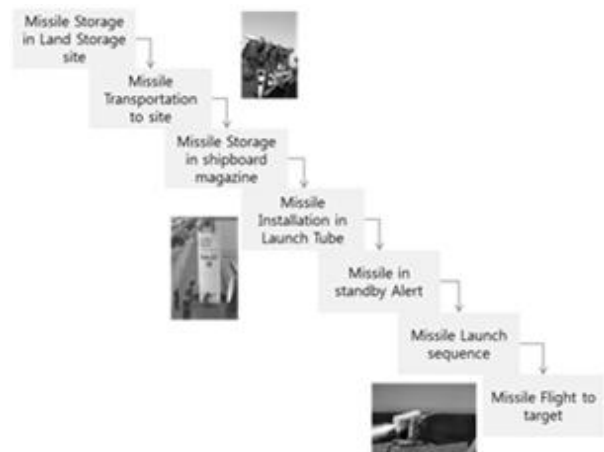
시험 준비 및 발사단계의 절차 사례로서 시험 검토 절차를 수행한 이후의 단계부터 미사일 발사 시험 수행 단계에서 발사 전 단계, 발사 단계, 무기체계의 실사격 시험의 개념적 절차를 [Figure 9]에서 제시하였다. 무유도인 경우에는 비행 단계에 대하여 별도 통제 단계가 들어갈 수 없으므로 본 사례에서는 다양한 시험 구성요소가 포함 될 수 있는 유도무기 비행시험을 예로 제시하였다.

<Table 1> WBS for missile live fire test.

WBS	시험 투입 자원
Missile (시험대상체)	미사일(Missile), 발사관(Missile Tube) 발사대(Missile Launcher)
Mission Control (비행통제)	시험 통제(Mission Control) 시험 종료(Mission Termination) 시험 전시(Mission Display) 비상폭파 시스템(Emergency Destruction)
Observation (계측)	원격측정(Telemetry) 계측레이더(Instrumentation Radar) 광학장비(Optical Tracking Sys.) 고속카메라(HSC) 발사대 계측 종말 계측
Range Safety (시험장안전)	해상 안전(Sea Range Safety) 안전 레이더(Safety control Radar ) 해상 소개선(Safety Control Ship)

물리적 아키텍처에서 각 분야별로 구성요소를 설정하여 전체 시험 참여 장비 식별 및 장비의 시험 단계별 입출력 관계를 정의하였으며, 시험 시나리오 구성시

참여분야를 제시하였다. 비행 중의 이상 현상에 따른 안전 조치 절차는 실사격 시험안전(live fire test range safety)의 대표적인 기능으로서 레이더 또는 원격측정 장비로부터 수신된 비행 상태에서 정상여부를 판단하고 미리 설정된 비행안전구역(Flight Corridor)을 벗어난 경우, 안전을 위한 비행 강제 종료 상태로서 무기체계의 시험뿐만 아니라 우주발사체인 SLV(Space Launch Vehicle)도 동일한 개념으로 비행 중단 절차를 수행하고 있다[12]. 비상 종료를 위한 알고리즘은 시스템 개발 시 정의된 비행 상태 변수를 가지고 정상 여부를 판단하는데, [Figure 9]과 같은 시험 절차를 가지는 시나리오를 예로 들 수 있다. 기능 구조의 분석은 물리적 구조에 따른 참여 모듈간의 상관관계를 정의해야만 하며, 이에 따라서 EFFBD를 이용하여 기능구조 아키텍처를 제시하였다.

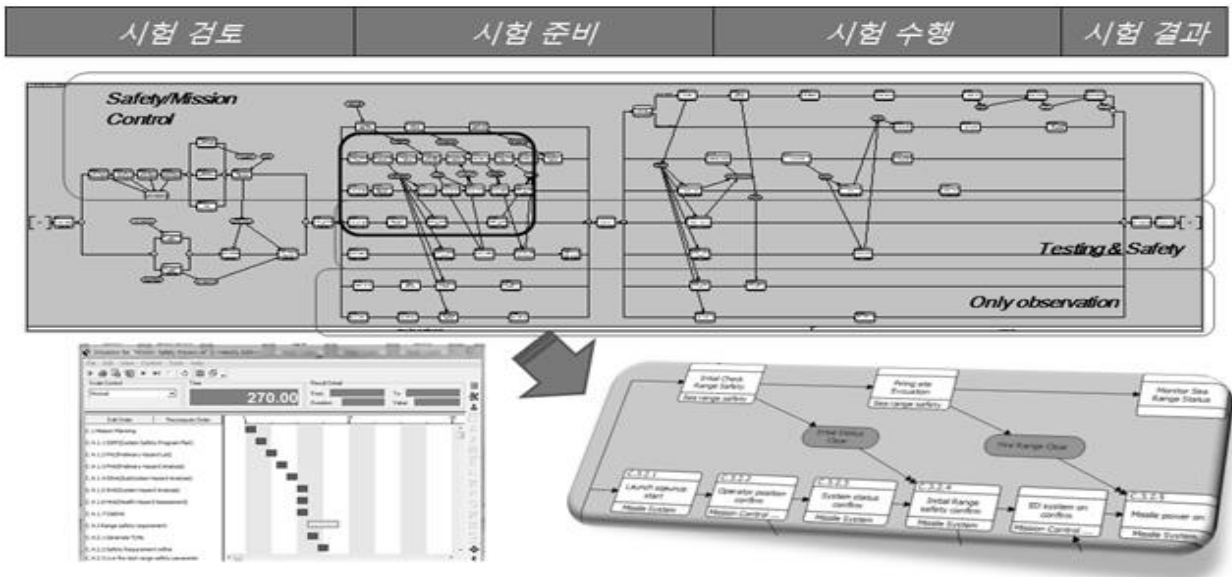


[Figure 9] A model for the firing process in live fire test.

시험 준비 및 발사단계의 절차를 통합하여 검증하기 위하여 위하여 시험 검토 절차를 수행한 이후의 단계부터 미사일 발사 시험 수행 단계에서 발사 전 단계, 발사 단계, 무기체계의 실사격 시험의 개념적 절차를 [Figure 10]에서 제시하였다.







[Figure 11] A functional architecture of the live fire test with consideration of range safety.

#### 4.2 실사격 시험 프로세스 검증을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 수행

본 연구에서 사용한 전산도구인 Core는 CoreSim 이라는 기능을 통하여 Time-line analysis가 가능하며, 논리적인 프로세스 수행되도록 설계가 이루어졌는지, 다수의 병렬 프로세스가 다층 구조로 복잡한 시스템 구조 프로세스의 정상적 운용 여부를 판단하는데 사용한다. 특히 대형화 되고 복잡성이 높아지는 시스템의 개발 추세에 비추어 단순히 조사 방식으로 육안 검사 위주의 시스템 검증은 그 유효성 자체에 의심의 여지가 있음으로 Time-line Analysis는 논리적인 설계에 대한 검증을 위한 효과적인 방법 사용된다. 본 연구에서 제시한 시험 프로세스는 많은 이해 당사자와 시험 참여자가 식별되므로 프로세스 검증을 위한 시뮬레이션은 입/출력 관계 및 트리거 등 인터페이스의 연관성이 논리적으로 구성되었는가와 다수의 참여자들의 논리적인 기능이 정상적으로 수행되었는지를 확인되어야만 한다.

본 연구결과에서는 [Figure 11]의 하단에 Time analysis 결과를 제시하였다. 검증을 위한 Time-line Analysis를 통하여 구현한 프로세스 흐름에 대한 오류를 수정할 수 있었으며, 이를 개선하여 논리적인 오류를 배제한 프로세스의 구현이 가능하게 되었다. 본 결과를 적용하여 정상적으로 프로세스가 구축됨을 확인할 수 있었다.

무기체계 시험평가 설계 및 수행이 성공적으로 이루어지기 위해서는 무기체계 연구개발의 초기개념설계

및 상세설계 단계와의 연계성의 중요성을 식별할 수 있었으며, 시스템 공학적인 접근법으로서 PMTS 개념을 적용하여 시험절차 프로세스 개발을 수행하는 과정을 제시하였다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 무기체계의 성능 및 운용성 검증을 위하여 수행하는 시험평가 단계인 검증 방법 중 실사격 시험에서 발생하는 폭발, 점화, 발사, 충돌 등의 물리적인 위해요소와 비정상적 운용에 따른 안정화 및 치명적 결함을 최소화하기 위하여 안전성을 강화한 실사격 무기체계 시험 아키텍처를 MBSE를 이용하여 구현하였다.

본 프로세스의 구축은 안전 협의 등 절차의 강화를 통한 개발단계와의 연계성 중시를 기반으로 요구조건을 식별하여 시험설계단계에 고려하고 설계시 도출된 안전 위해요소를 시험 절차 시나리오 구성과 시험 수행 프로세스에 적용하였다. 또한 이를 통하여 모델링 기반의 시험 시나리오 구성을 위한 기반을 확보하였다.

본 연구를 통한 모델링을 통한 통합 프로세스의 개발은 서로 다른 영역으로 오랫동안 존재한 시험평가와 안전공학이라는 이중 간의 통합을 위한 유효한 대안으로서 복잡한 시험 수행절차의 오류를 최소화하고 다양한 환경에 따라서 수행되는 시험에서 중간 요구조건 변경에 대해서도 수용, 절차 변경이 용이하도록 하였다.

다양성을 가진 시험 요구가 증가하고, 새로운 개념의

시험 수행 요구가 도출될 경우에도 기본 아키텍처에 따라서 개발단계에서 식별된 안전 측면의 위험요소는 시험 수행단계에서 확인을 통하여 오류를 최소화할 수 있으며, 시험 흐름에 대한 논리적인 시뮬레이션을 통하여 새로운 단계가 추가되더라도 손쉽게 절차적 오류 여부를 확인할 수 있도록 하였다.

향후 추가적인 연구에서는 안전성 강화를 위한 기능적 구조 제시에서 한걸음 더 나아가 무기체계 연구개발시의 모델 구성에 유연하게 대응하기 위하여 일관성을 갖는 아키텍처 구조를 제시하기 위하여 DoDAF 2.0 또는 MNDAF 와 같은 표준화된 아키텍처로서 기술적인 측면과 안전적인 측면을 모두 제시할 수 있는 안전도 강화 실사적 프레임워크를 구축과 함께 안전성 등을 고려한 시험 시나리오 구성의 성숙도 강화 방안을 연구 하고자 한다.

## 6. References

- [1] W.D Bell(2010), "Systems Engineering Test and Evaluation - The Integration Process," ITEA Journal, 31:56-62
- [2] 국방전력발전업무훈령, 훈령 제1388호, 2012.2.3.
- [3] Jack K. Thompson(2010) "Recognizing the test development Life Cycle," ITEA Journal, 31 :103-108
- [4] Brian Simmons(2012), "T&E-The speed of need," ITEA Journal, 33:5-8
- [5] Randon R. Herrin, Neil L. Barret(2012), "Interoperability Testing at the Speed of Need," ITEA Journal, 33:15-29
- [6] Sung Hyuck Ye(2012),"On the development of IT-based test information system to share test infrastructure and advanced test requirement process for industry in Korea,," ITEA Annual symposium
- [7] B.J. Yoo et al(2012), "Systems Engineering based Live Fire Test of Weapon systems," KIMST, 5:28-35
- [8] Y.M. Kim and J.C. Lee(2012) "On the integration of systems design and system safety process from an integrated data model viewpoint," Korea Safety Management & Science, 14:107-116
- [9] Ray C. Terry(2005), "System safety in systems engineering process," NDIA 8th Annual systems engineering conference
- [10] Jeff A. Estefan(2008), "Survey of Model-Based Systems Engineering(MESE) Methodologies," Rev. B, INCOSE Tech. Pub., INCOSE - TD - 2007 003-01
- [11] Markus Hoppe, Avner Engel(2005), "Improving the VVT Process: Evaluating the SysTest Results in Six Industrial Pilot Projects," Proceedings of the 15th Annual INCOSE
- [12] Clifton A. Ericson, II(2005), "Hazard Analysis Techniques for system safety," John Wiley & Sons, Inc.
- [13] Joseph C. Chen, et al(2003), "Modeling an off-nominal launch vehicle trajectory for range safety link analysis," Aerospace Conference, 2003 proceedings, 7:3419-3426.

## 저 자 소개

### 예 성 혁



현 국방과학연구소 책임연구원, 아주대학교 시스템공학과 박사과정. 관심분야는 시험평가 관련 시스템공학 및 안전설계, 모델기반 시스템공학 등

주소 : 충청남도 태안군 태안우체국 사서함 1호 국방과학연구소 종합시험본부

### 이 재 천



현 아주대학교 시스템공학과 정교수. 서울대학교 전자공학과에서 공학사, KAIST 전기 및 전자공학과에서 공학석사 및 박사 학위를 취득. 미국 MIT에서 Post-Doc을 수행하였으며, Univ. of California (Santa Barbara)에서 초빙연구원, 캐나다 Univ. of Victoria (BC)에서 방문교수, KIST에서 책임연구원 재직. 이후 미국 Stanford Univ. 방문교수 역임. 현재 연구 및 교육 관심분야는 시스템공학 및 Systems Safety에의 응용 등.

주소 : 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지 아주대학교 서관 309호